

Utjecaj postupka ravnanja TIG parametrima na mehanička svojstva Al-limova

Igor Savić¹, Vedrana Špada², Ivan Pentek³, Ener Špada⁴

¹ bacc.ing.mech., Tehnomont brodogradilište, Fižela 6, 52100 Pula, Hrvatska

² doc.dr.sc, dipl.ing.kem.teh., voditeljica Centra za istraživanje METRIS, Istarsko veleučilište – Università Istriana di scienze applicate, Riva 6, 52100 Pula, Hrvatska (vspada@iv.hr)

³ mag.ing.mech. Istarsko veleučilište – Università Istriana di scienze applicate, Riva 6, 52100 Pula, Hrvatska

⁴ Istarsko veleučilište – Università Istriana di scienze applicate, Riva 6, 52100 Pula, Hrvatska

Sažetak

Ravnanje limova postupcima u kojima dolazi do unosa topline mijenja mikrostrukturu te posljedično mehanička svojstva materijala. U ovom radu cilj je bilo utvrditi koliki utjecaj imaju različiti parametri TIG (eng. tungsten inert gas) postupka korišteni pri ravnanju aluminijskih limova legure 5083 H321 na vlačnu i savojnu čvrstoću te optimizirati postupak ravnanja. Provedbom eksperimenata izvršena je usporedba mehaničkih svojstava referentnog materijala i materijala nakon različitih uvjeta grijanja TIG postupkom. Provedbom vlačnog testa i ispitivanjem na savijanje potvrđeno je kako limovi koji su dva puta grijani, ohlađeni vodom, kao i oni koji na svojoj površini imaju aluminijski oksid, nemaju značajne promjene mehaničkih svojstava te i dalje zadovoljavaju zahtjeve relevantnih normi. Rezultati ovakvih istraživanja dobivaju primjenu u industriji, kada se temeljem eksperimentalnih podataka propišu radne upute i certificiraju postupci prema kojima se može vršiti određena obrada materijala, a da materijal bude i dalje prema svojim svojstvima unutar propisanih granica sigurnosti za eksploataciju.

Ključne riječi: Al-5083 H321, AlMg4,5Mn0,7, ravnanje limova, TIG, TIG ravnanje

1. Uvod

Aluminijeve se legure, radi svojih dobrih svojstava, sve više koriste u raznim tehničkim granama, primjerice u brodogradnji za izradu trupa broda i drugih konstrukcija. Aluminijeve legure ne korodiraju te ih nije potrebno dodatno površinski zaštititi i većina izrađenih elemenata tijekom eksploatacije bude izravno izložena vanjskim utjecajima. Površina konstrukcije izrađene od aluminijeve legure ostaje vidljiva i nakon završne obrade te je

cilj u proizvodnji elementa svaku neravninu dovesti unutar raspona tolerancije, osim radi funkcionalnosti i radi estetike. U ovom radu je istražena promjena mehaničkih svojstava materijala nastala uslijed dovođenja topline materijalu pri ravnanju aluminijskih limova parametrima TIG (eng. tungsten inert gas) postupka u svrhu optimizacije samog postupka za primjenu u proizvodnji. S obzirom kako ne postoji pisana i prihvaćena uputa o ravnanju limova parametrima TIG postupka postavlja se pitanje prihvatljivosti materijala po

koncu postupka, odnosno zadovoljavaju li njegova promijenjena svojstva, zadane konstrukcijske zahtjeve i zahtjeve certifikata materijala. Eksperiment je precizno odrađen prema zadanom detaljnom planu u svrhu kasnije optimizacije postupka korištenjem umjerene mjeriteljske opreme uz primjenu ISO normi u svim koracima rada.

1.1. Aluminijeva legura 5083 H321M

Zbog svojih iznimno povoljnih karakteristika u primjeni, aluminij i njegove legure su postale vrlo popularan materijal za razne proizvode i konstrukcije. Od prehrambenih folija do složenih inženjerskih projekata, aluminij je drugi najčešće korišteni metalni materijal nakon čelika. Gustoća aluminija od 2700 kg/m^3 je otprilike jedna trećina gustoće čelika, ali uz visoku čvrstoću omogućuje projektiranje i izradu čvrstih konstrukcija s malom masom.

Kada se aluminij nalazi na zraku, na njegovoj površini se trenutačno stvara tanki inertni film aluminijevog oksida (Al_2O_3) koji sprječava daljnju koroziju. U slučaju uklanjanja sloja oksida, taj se film ponovno stvara u kontaktu s kisikom. Aluminijeve legure imaju visoku otpornost na koroziju u vlažnoj atmosferi, atmosferi visokog saliniteta i na mnoge druge vanjske utjecaje, uključujući širok spektar kemijskih tvari (Davis, 1993).

Proizvodi od aluminijevih legura mogu se proizvoditi lijevanjem ili valjanjem, a razlikuju se prema legirnim elementima i toplinskoj obradi. Neprofitno društvo iz Amerike poznato kao "Aluminum Association" razvilo je sustav označavanja aluminija prema postupku obrade. Utjecaj topline koja se unosi pri ravnjanju limova TIG postupkom na mehanička svojstva ispitan je na aluminijevoj leguri oznake 5083 H321M koja se, između ostalog, koristi u brodogradnji. Aluminijeva legura 5083 H321M ne zahtijeva toplinsku obradu, a njezin glavni legirni element je magnezij (Mg). Legure koje ne zahtijevaju toplinsku obradu postižu svoju čvrstoću hladnim postupkom deformiranja na sobnoj temperaturi. Metoda razvlačenja koristi se za duktilne materijale koji nemaju definiranu granicu elastičnosti i označava se slovom H, dok brojevi u nastavku označavaju slijed procesa. Ukoliko je materijal testiran na otpornost od korozije, dodaje se oznaka M.

Legura 5083 ima visoku čvrstoću, otpornost na koroziju i dobru zavarljivost, što ju čini idealnom za mnoge primjene. Zbog svoje cjenovne dostupnosti, legura 5083 se široko primjenjuje u izradi plovila, kriogenih spremnika, letjelica, posuda pod tlakom i mnogih drugih zavarenih sklopova. Oznaka legure prema europskoj normi EN 573-3 je AlMg4,5Mn0,7 (Norma EN 573-3).

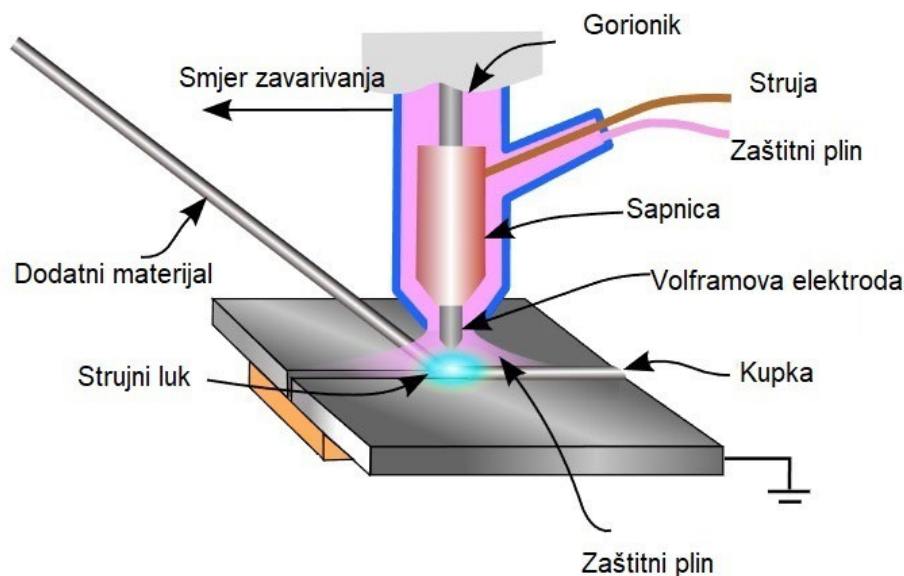
1.2. TIG (GTAW) postupak zavarivanja

Naziv postupka zavarivanja TIG (slika 1) potječe od engleskog naziva za plinsko elektrolučno zavarivanje volframovom netaljivom elektrodom (eng. *tungsten inert gas*). Također se označava kao GTAW što potječe od engleskog naziva *gas tungsten arc welding*. TIG postupak zavarivanja aluminija razvijen je 1944. godine i iako se danas postupak zavarivanja taljivim elektrodama koristi za zavarivanje debljih limova, TIG postupak je i dalje važan za zavarivanje aluminija, posebno za najkvalitetnije zavarene spojeve i kritične primjene kao što su cijevni zavareni spojevi potpune penetracije na kriogenim tlačnim posudama.

Kada je u pitanju zavarivanje tanjih aluminijevih limova debljine manje od 6,5 mm, najčešće se koristi zavarivanje volframovom netaljivom elektrodom s izmjeničnom strujom u atmosferi čistog argona. Ovaj postupak zavarivanja ne zahtijeva dodatni materijal za ravnjanje limova prema željenom obliku.

Za plinsko elektrolučno zavarivanje netaljivom volframovom elektrodom, potrebna je toplinska energija koja se razvija uz pomoć električnog luka između elektrode i obratka. Elektroda, izrađena od volframa ili volframove legure, štiti zonu utjecaja topline, talinu i elektrodu od atmosferskih utjecaja inertnim plinom argonom. Obradak se spaja lomljenjem električnog luka, koji tali obradak i dodatni materijal, a zavareni spoj dobiva se nakon hlađenja. Parametri zavarivanja ovise o materijalu koji se spaja, pripremi spoja, debljini materijala i drugim čimbenicima. Ovi parametri su značajni za kontroliranje utjecaja na materijal, kako bi se ispunili zahtjevi za kvalitetu i mehanička svojstva poput vlačne čvrstoće koje su propisane normama i specifičnim zahtjevima.

Slika 1. Sastavni dijelovi TIG postupka



Izvor: <https://www.weldingis.com/gtaw-welding>, 21. veljače 2023.

2. Priprema i provedba ravnjanja limova parametrima tig postupka

2.1. Lim aluminijeve legure 5083 H321M

Lim aluminijeve legure 5083 H321M je simulirao brodsku strukturu na kojoj je proveden TIG postupak u svrhu ravnjanja. Materijal dolazi u limovima dimenzija 2.000,00 mm x 6.000,00 mm x 4,00 mm (širina x dužina x debljina). Oznaka šarže je 572640100. Certifikat materijala (LR HAM000004-347, 3.2 certifikat) služi za kontrolu kvalitete i utvrđivanje sljedivosti i sukladnosti te je istovremeno

i potvrda kako je lim proizveden u kontroliranom i prihvaćenom procesu te je vizualno pregledan od strane inspektora Lloyd Registra. Naknadno je zbog potrebe gradnje pregledan i prihvaćen od strane inspektora Bureau Veritasa (u nastavku BV). Na certifikatu materijala nalaze se rezultati ispitivanja kemijskog sastava i mehaničkih svojstava izvršenih od strane proizvođača tako da serija iz koje ovaj lim dolazi ima svoje specifične podatke prikazane u tablicama 1 i 2. Kemijski sastav izražen je u masenim udjelima pojedinih kemijskih elemenata u postocima.

Tablica 1. Kemijski sastav legure 5083 šarže 572640100 izražen u postocima kemijskog udjela pojedinih elemenata

Si%	Fe%	Cu%	Mn%	Mg%	Cr%	Zn%	Ti%
0,17	0,27	0,04	0,77	4,70	0,07	0,01	0,01

Tablica 2. Mehanička svojstva legure 5083 šarže 572640100

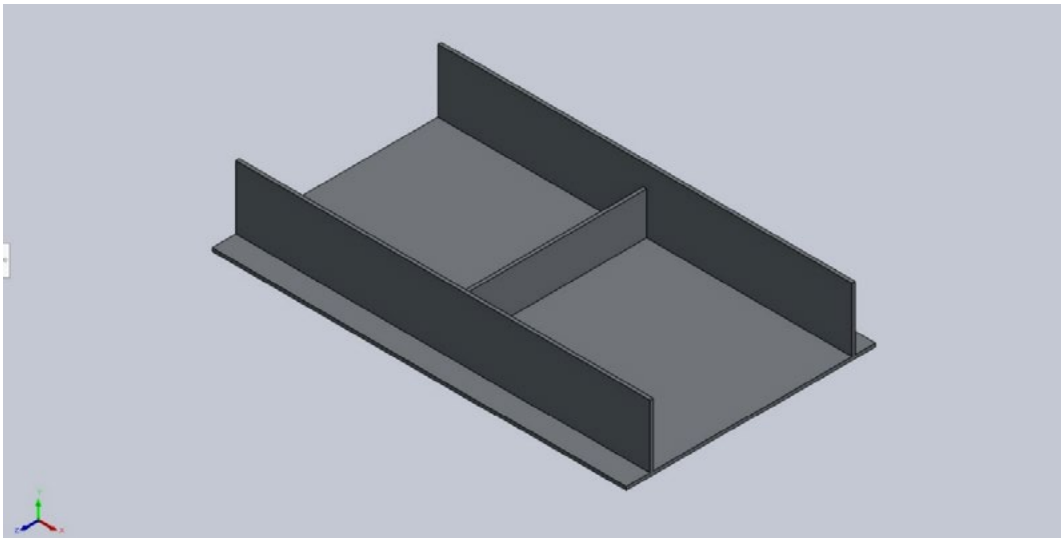
Vlačna čvrstoća R_m (MPa)	Granica razvlačenja $R_{p0,2}$ (MPa)	Istezanje A (%)
344	243	13

2.2. Izrada konstrukcije

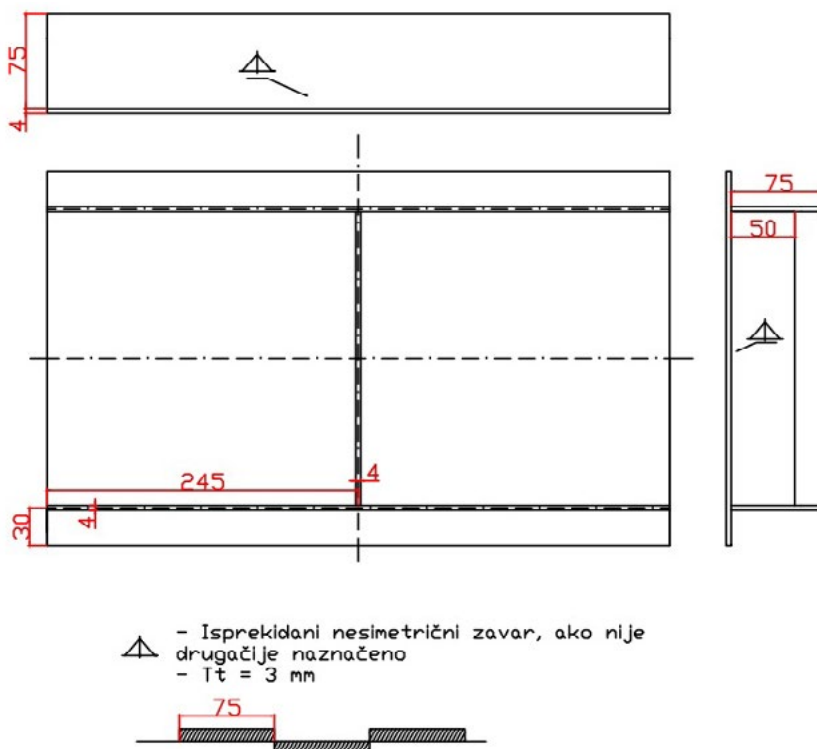
Prije početka ravnanja limova TIG parametrima simulirana je brodska struktura, jer bi izravno unošenje topline deformiralo ploču bez konstrukcije i bila bi neupotrebljiva. Iz tog razloga ploča je pojačana dodatnom konstrukcijom čiji je model prikazan na slici 2.

Nakon izrade nacрта, za osnovni aluminijev lim su spojena pojačanja i izrađena je konstrukcija. Kod zavarivanja toplina ima utjecaj na lim te u svrhu dobivanja što točnijih podataka simulirana konstrukcija je zavarena istim tipom spoja kao i brodska konstrukcija. Na slici 3. prikazan je nacrt izrade i opisana je vrsta spoja.

Slika 2. Model konstrukcije izrađen u programu Solidworks



Slika 3. Nacrt konstrukcije izrađen pomoću softvera AutoCad



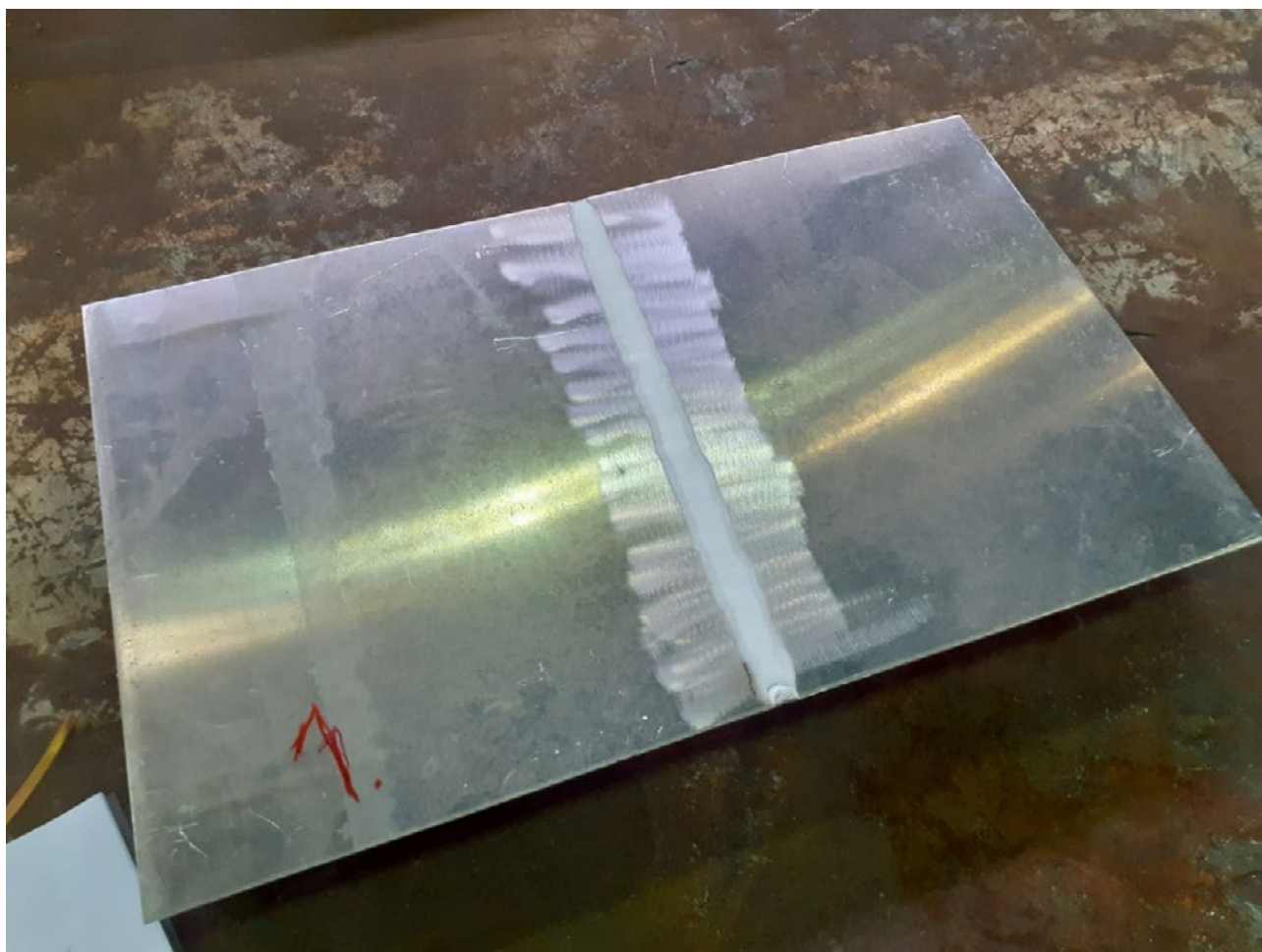
2.3. Provedba postupka ravnanja limova na principu TIG metode

Prije nego što se električnim lukom unese toplina, na aluminijevom limu je izbrušeno područje ravnjanja i uklonjen je sloj aluminijevog oksida, što je prikazano na slici 4. Tehnolozi u brodogradilištu Tehnomont u Puli odabrali su parametre grijanja na temelju dugogodišnjeg iskustva. Izmjenični TIG uređaj (Kemppi master TIG) koristio se za provođenje postupka ravnjanja, s zaobljenom volframovom elektrodom promjera 2,4 mm i argonom kao zaštitnim plinom. Pripremljeno je 9 limova od legure 5083, a postupak ravnjanja proveden je različitim parametrima unosa topline. Nakon toga

su izrađeni uzorci: sedam uzoraka za svaki lim, od kojih su pet pripremljena za vlačno ispitivanje, a dva za ispitivanje savijanjem. Pasivni sloj aluminijevog oksida nije uklonjen brušenjem s lima broj 5, a limovi 6 i 9 su nakon ravnjanja hlađeni vodom. Ovaj postupak nije uobičajen u praksi, ali je bio zanimljiv za istraživanje utjecaja hlađenja vodom na mehanička svojstva aluminijevog lima. Ravnjanje se provodi na mjestu ukrute ili pojačanja kako ne bi došlo do deformacije.

Unosi topline (Q) na pojedini lim (parametri ravnjanja) su izračunati u skladu sa normom EN ISO 1011-1:2009 te su prikazani u tablici 3. Kod limova 5 i 9 provodilo se dva prolaza, pri čemu je dvostruk unos topline na materijal.

Slika 4. Lim nakon ravnjanja



Tablica 3. Parametri ravnjanja

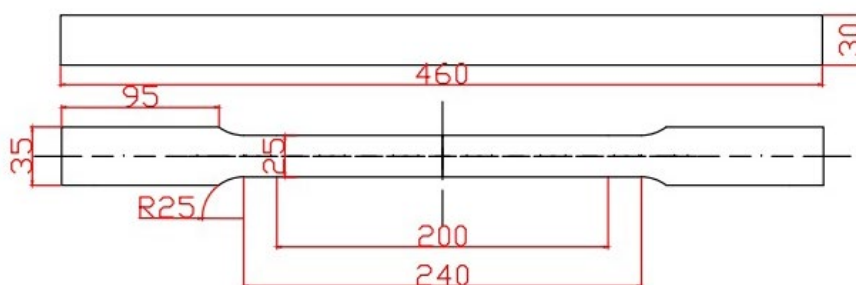
Broj ploče	Unos topline Q [kJ/mm]
1.	0,4252
2.	0,3477
3.	0,3264
4.	0,3049
5.1	0,3376
5.2	0,3795
6.	0,4958
7.	0,7491
8.	0,4427
9.1	0,4264
9.2	0,4217

2.4. Izrada uzoraka za ispitivanje mehaničkih svojstava

Prema pravilima BV-a (BV NR 216, 2018) izrađen je nacrt uzoraka za ispitivanje mehaničkih svojstava. Slika 5 prikazuje epruvetu za ispitivanje čvrstoće savijanjem (pravokutnik) te epruvetu za vlačno ispitivanje.

Za potrebe ispitivanja, iz aluminijevih ploča su izrezani ispitni uzorci prema sljedećem redosljed: M1, S1, M2, M3, S2, M4 i M5, od početka paljenja luka do završetka. Za svaki lim pripremljena su tri uzorka za vlačno ispitivanje te dva za savijanje, s pažnjom usmjerenom prema mjestu unosa topline koje je smješteno na sredini uzorka. Prilikom izrade ispitnih uzoraka, važno je posvetiti pažnju pripremi površine. Nakon hlađenja, pojačanja (ukrute) potrebno je ukloniti brusilicom, rezanjem zavarenog spoja bez dodirivanja površine lima ili osnovnog materijala. Nakon toga se preostali dio zavara uklanja brušenjem kako bi se izbjegla oštećenja i pregrijavanje ispitne površine. Svi uzorci su označeni s tri oznake: prva označava broj lima, druga vrstu ispitivanja, a treća broj ispitnog uzorka. Slika 6 prikazuje pet epruveta koje su pripremljene za ispitivanje vlačne čvrstoće u laboratoriju.

Slika 5. Nacrt ispitnih uzoraka za ispitivanje mehaničkih svojstava izrađen u AutoCad softveru



3. Rezultati laboratorijskih ispitivanja

Ispitivanja mehaničkih svojstava izvršena su u akreditiranom ispitnom laboratoriju Centra za istraživanje METRIS Istarskog veleučilišta - Università Istriana di scienze applicate. Kemijski sastav ispitan je na optičkom emisijskom spektrometru s

pobudom uzorka metodom tinjajućeg izboja GDS LECO 500A, a ispitivanje čvrstoće vlačnim testom je provedeno u skladu sa normom HRN EN ISO 6892-1:2019 na uređaju Messphysik Beta 250. Ispitivanje savijanjem također je izvršeno na univerzalnoj statičkoj kidalici Messphysik Beta 250 prema pravilima BV-a (BV NR 216, 2018).

3.1. Kontrola kvalitete aluminijskih limova

Prije nego što su ispitni uzorci podvrgnuti testiranju kako bi se utvrdio utjecaj parametara ravnjanja, kemijski sastav istog aluminijskog lima (iz šarže 572640100) je ispitan na dva referentna uzorka koji su korišteni za vlačno ispitivanje (označeni kao R1 i R2), u svrhu kontrole kvalitete. Nakon toga,

proveden je vlačni test. Kemijski sastav materijala je u skladu s certifikatom te se ne mijenja parametrima TIG postupka kod aluminijskih legura. Dobiveni rezultati mehaničkih svojstava referentnog lima, osim kontrole kvalitete i usklađenosti s certifikatom, omogućuju i usporedbu s vrijednostima vlačne čvrstoće i granice razvlačenja za materijal koji je podvrgnut uvjetima ravnjanja.

Slika 6. Ispitni uzorci za vlačno ispitivanje



Tablica 4. Rezultati mehaničkih ispitivanja referentnih uzoraka

Oznaka uzorka	Granica razvlačenja $R_{p0,2}$ [MPa]	Vlačna čvrstoća R_m [MPa]	Maksimalna sila F_m [kN]	Istezanje A [%]
R1	226,6	345,8	34,52	14,32
R2	226,2	344,8	34,40	15,97

3.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće limova izravnatih parametrima TIG postupka

U tablici 5 prikazani su rezultati vlačnog ispitivanja svih uzoraka, a provedena je usporedba s referentnim uzorcima. Vrijedno je spomenuti da su dobiveni rezultati evaluirani prema BV pravilima, gdje minimalna (kritična) vrijednost vlačne čvrstoće za

leguru 5083 iznosi 305 MPa. Rezultati pokazuju da uzorak s oznakom 7M5 ne zadovoljava kriterije vlačne čvrstoće te se ne može dalje koristiti. Također, vlačnim testom izmjerene su granice razvlačenja, maksimalna sila i istezanje svih uzoraka ravnalog aluminijskog lima debljine 4 mm te referentne legure Al-5083.

Tablica 5. Rezultati vlačnog ispitivanja

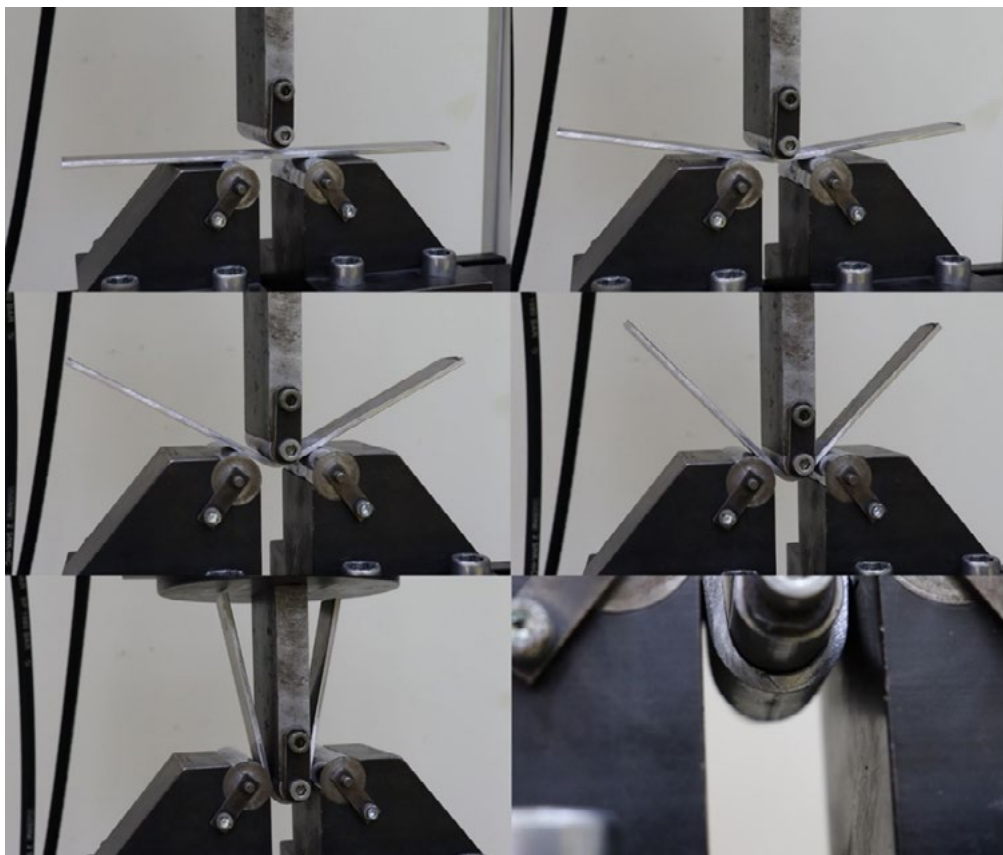
BNo	Rp0.2 MPa	ΔRp0.2 %		Rm MPa	ΔRm %		Fm kN	ΔFm %		A %	ΔA %	
		R1	R2		R1	R2		R1	R2		R1	R2
R1	226.6	0	0.18	345.8	0	0.29	34.52	0	0.35	14.32	0	-10.33
R2	226.2	-0.18	0	344.8	-0.29	0	34.40	-0.35	0	15.97	11.52	0
2022/IS-1M1	209.7	-7.46	-7.29	327.10	-5.41	-5.13	32.40	-6.14	-5.81	10.14	-29.19	-36.51
2022/IS-1M2	215.4	-4.94	-4.77	330.20	-4.51	-4.23	32.92	-4.63	-4.30	8.935	-37.60	-44.05
2022/IS-1M3	211.3	-6.75	-6.59	316.10	-8.59	-8.32	31.79	-7.91	-7.59	7.797	-45.55	-51.18
2022/IS-1M4	212.1	-6.40	-6.23	323.10	-6.56	-6.29	32.41	-6.11	-5.78	8.625	-39.77	-45.99
2022/IS-1M5	207.8	-8.30	-8.13	319.50	-7.61	-7.34	32.07	-7.10	-6.77	9.020	-37.01	-43.52
2022/IS-2M1	208.1	-8.16	-8.00	319.70	-7.55	-7.28	32.24	-6.60	-6.28	9.417	-34.24	-41.03
2022/IS-2M2	210.7	-7.02	-6.85	311.90	-9.80	-9.54	31.04	-10.08	-9.77	6.606	-53.87	-58.03
2022/IS-2M3	205.9	-9.14	-8.97	315.20	-8.85	-8.58	31.65	-8.31	-7.99	7.771	-45.73	-51.34
2022/IS-2M4	205.8	-9.18	-9.02	319.00	-7.75	-7.48	32.27	-6.52	-6.19	8.979	-37.30	-43.78
2022/IS-2M5	203.5	-10.19	-10.04	316.50	-8.47	-8.21	31.60	-8.46	-8.14	8.298	-42.05	-48.04
2022/IS-3M1	209.8	-7.41	-7.25	308.70	-10.73	-10.47	31.39	-9.07	-8.75	7.192	-49.85	-55.03
2022/IS-3M2	207.7	-8.34	-8.18	302.50	-12.52	-12.27	30.44	-11.82	-11.51	4.971	-65.29	-68.87
2022/IS-3M3	206.0	-9.09	-8.93	314.00	-9.20	-8.93	32.04	-7.16	-6.86	7.576	-47.09	-52.56
2022/IS-3M4	206.4	-8.91	-8.75	317.20	-8.27	-8.00	31.98	-7.36	-7.03	8.844	-38.24	-44.62
2022/IS-3M5	196.8	-13.15	-13.00	314.80	-8.96	-8.70	31.66	-8.29	-7.97	8.019	-44.00	-49.79
2022/IS-4M1	212.3	-6.31	-6.15	326.10	-5.70	-5.42	32.42	-6.08	-5.76	10.32	-27.93	-35.38
2022/IS-4M2	212.7	-6.13	-5.97	321.50	-7.03	-6.76	32.54	-5.74	-5.41	8.155	-43.05	-48.94
2022/IS-4M3	209.6	-7.50	-7.34	314.80	-8.96	-8.70	31.56	-8.57	-8.26	7.663	-46.49	-52.02
2022/IS-4M4	214.9	-5.16	-5.00	328.70	-4.95	-4.67	32.86	-4.61	-4.48	8.950	-37.50	-43.96
2022/IS-4M5	209.6	-7.50	-7.34	318.80	-7.81	-7.54	31.56	-8.57	-8.26	8.145	-43.12	-49.00
2022/IS-5M1	203.3	-10.28	-10.12	320.40	-7.35	-7.08	32.40	-6.14	-5.81	9.951	-30.51	-37.69
2022/IS-5M2	204.4	-9.80	-9.64	309.70	-10.44	-10.18	31.51	-8.72	-8.40	7.123	-50.26	-55.40
2022/IS-5M3	200.2	-11.65	-11.49	323.30	-6.51	-6.24	33.10	-4.11	-3.78	9.805	-31.53	-38.60
2022/IS-5M4	205.8	-9.18	-9.02	319.40	-7.63	-7.37	32.38	-6.20	-5.87	9.503	-33.22	-40.12
2022/IS-5M5	199.6	-11.92	-11.76	310.70	-10.15	-9.89	31.84	-7.76	-7.44	8.226	-42.56	-48.19
2022/IS-6M1	198.6	-12.36	-12.20	316.80	-8.39	-8.12	31.81	-7.85	-7.53	7.155	-50.03	-55.20
2022/IS-6M2	204.6	-9.71	-9.55	313.80	-9.25	-8.99	31.00	-8.46	-8.14	7.573	-47.12	-52.58
2022/IS-6M3	194.0	-14.39	-14.24	312.20	-9.72	-9.45	31.38	-9.10	-8.78	7.801	-45.52	-51.15
2022/IS-6M4	203.1	-10.37	-10.21	317.10	-8.30	-8.03	32.25	-6.58	-6.25	8.730	-39.04	-45.34
2022/IS-6M5	202.9	-10.46	-10.30	314.10	-9.17	-8.90	31.24	-9.50	-9.19	7.396	-48.35	-53.69
2022/IS-7M1	194.5	-14.17	-14.01	307.50	-11.08	-10.82	30.75	-10.92	-10.61	7.306	-48.98	-54.25
2022/IS-7M2	184.9	-18.40	-18.26	296.50	-14.26	-14.01	29.91	-13.35	-13.05	5.975	-58.28	-62.59
2022/IS-7M3	178.0	-22.33	-22.19	276.20	-20.13	-19.90	27.78	-19.52	-19.24	4.590	-67.95	-71.26
2022/IS-7M4	178.7	-21.14	-21.00	293.90	-15.01	-14.76	29.49	-14.57	-14.27	6.150	-57.05	-61.49
2022/IS-7M5	181.6	-18.53	-18.39	260.10	-24.78	-24.56	25.69	-25.58	-25.32	2.833	80.22	-82.26
2022/IS-8M1	211.3	6.75	6.59	323.80	6.36	6.09	32.75	5.13	4.80	8.817	38.43	-44.79
2022/IS-8M2	203.8	10.06	9.90	307.50	11.08	10.82	30.89	10.52	-10.20	6.746	52.89	-57.76
2022/IS-8M3	206.7	8.78	8.62	311.50	9.92	9.66	31.49	8.78	-8.46	6.972	51.31	-56.34
2022/IS-8M4	203.8	10.06	9.90	315.70	8.70	8.44	31.87	7.68	-7.35	7.100	50.42	-55.54
2022/IS-8M5	203.0	10.41	10.26	311.70	9.86	9.60	31.19	9.65	-9.33	7.359	48.61	-53.92
2022/IS-9M1	201.2	11.21	11.05	307.10	11.19	10.93	30.54	11.53	-11.22	6.026	57.92	-62.27
2022/IS-9M2	197.4	-12.89	-12.73	312.30	-9.69	-9.43	30.48	-11.70	-11.40	6.726	-53.03	-57.88
2022/IS-9M3	203.3	-10.28	-10.12	313.80	-9.25	-8.99	30.67	-11.15	-10.84	7.097	-50.44	-55.56
2022/IS-9M4	194.5	-14.17	-14.01	305.40	-11.68	-11.43	30.67	-11.15	-10.84	6.566	-54.15	-58.09
2022/IS-9M5	198.4	-12.44	-12.29	304.30	-12.00	-11.75	30.54	-11.53	-11.22	6.297	-56.03	-60.57

Pri ravnjanju aluminijskog lima 7, primijenjena je veća količina topline od uobičajene vrijednosti za čak 46,6%. No, to se inače ne primjenjuje u praksi ravnjanja aluminijskih limova. Ovi parametri korišteni su samo u svrhu izrade uzoraka i provedbe eksperimenata kako bi se točno utvrdio utjecaj topline na čvrstoću materijala. Cilj je bio razviti

postupak koji se može certificirati i primijeniti u proizvodnji, dobiti „gornje“ i „donje“ granice, što se smije, a što ne smije napraviti pri ravnjanju parametrima TIG-a za specifičnu leguru. U proizvodnom sustavu usklađenom s relevantnim ISO normama, za verifikaciju novih metoda važni su eksperimentalni (mjeriteljski) podaci, koji su nužni

za validaciju postupka i podložni su nadzoru ovlaštenih registara, posebice u sektoru brodogradnje.

Slika 7. Ispitivanje savijanjem



3.3. Ispitivanje na savijanje limova izravnatih parametrima TIG postupka

Postupak savijanja uzorka u toplinskoj zoni do kuta od 180° provodi se u skladu s normom HRN EN ISO 7438, a ako uzorak nema pukotina, smatra se kako su ispunjeni kriteriji norme. Za ispitivanje se koristi trn promjera 20 mm, ovisno o debljini ispitnog materijala (slika 7). Svi uzorci koji su podvrgnuti ovom ispitivanju su zadovoljili kriterije.

4. Zaključak

U ovom istraživanju se proučavala mogućnost primjene nove metode za ravnjanje aluminijskih limova koristeći TIG postupak s parametrima koji su u skladu s važećim procedurama u proizvodnji. U skladu s zahtjevima kvalitete materijala i normama, postupci se propisuju na temelju rezultata

istraživanja, a zatim se uvode u proizvodnju s odobrenjem certifikacijskog tijela koje je provjerilo sve eksperimentalne podatke. Rezultati ovog rada su pokazali kako je TIG postupak prikladan za ravnjanje Al-limova te kako ne utječe na njihova mehanička svojstva ispod norme dozvoljenih granica. Parametri eksperimenta su odabrani prema iskustvu tehnologa u proizvodnji i zavarivanju aluminijskih limova u brodogradilištu Tehnomont. Limovi su odabrani prema stvarnim potrebama u proizvodnji i cilj je bio optimizirati parametre i odrediti ulazne podatke za kasnije radne upute i atestaciju postupka. Za istraživanje je odabrana jedna vrsta i debljina lima te 10 različitih parametara TIG postupka. Ispitivanjem mehaničkih svojstava dokazano je kako su vlačna čvrstoća i savojna svojstva zadovoljavajuća te kako limovi koji su dva puta grijani, ohlađeni vodom ili imaju aluminijski oksid na površini nemaju značajnije smanjenje mehaničkih svojstava, odnosno zadovoljavaju zahtjeve

relevantnih normi. Istraživanje je odgovorilo na pitanje o utjecaju grijanja na aluminijske limove, ali su se otvorila nova pitanja o tome kako se različite debljine aluminijske legure ponašaju pod toplinskim opterećenjem, što zahtijeva daljnja istraživanja. Ovo istraživanje može služiti kao smjernica za daljnja istraživanja aluminijske legure Al 5083, koja će se vjerojatno sve više koristiti u budućnosti.

Popis literature

- Aluminium Rolled Products. Inspection certificate. Hydro No.0001146933*
- BV NR 216 (2018). Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units. Bureau Veritas. Paris*
- Davis, J. R. (1993). Aluminum and aluminum alloys. ASM international*
- Welding Handbook (1978). Welding Processes: Arc and Gas Welding and Cutting. Brazing and Soldering*
- Weldings (bez dt.). Preuzeto 12.05.2022. s <https://www.weldings.com/gtaw-welding>*

Abstract

The straightening of sheets by processes in which heat is introduced changes the microstructure and, consequently, the mechanical properties of the material. In this work, the goal was to determine the influence of the different parameters of the TIG (tungsten inert gas) process used in the straightening of aluminum sheets of alloy 5083 H321 on the tensile and flexural strength and to optimize the straightening process. By carrying out the experiments, a comparison of the mechanical properties of the reference material and the material after different conditions of heating by the TIG process was made. By conducting a tensile test and a bending test, it was confirmed that sheets that have been heated twice, cooled with water, as well as those that have aluminum oxide on their surface, do not have significant changes in mechanical properties and according to relevant standards, they can be used in shipbuilding. The results of such research are applied in the industry, when, based on experimental data, work instructions are prescribed and procedures are certified according to which certain processing of the material can be carried out, and that the material is still according to its properties within the prescribed safety limits for exploitation.

Keywords: Al-5083 H321, AlMg4,5Mn0,7, straightening sheets, TIG, TIG straightening